

## EVALUASI TINGKAT AWAL PRODUKSI $^{201}\text{Tl}$ DENGAN SIKLOTRON CS-30 BATAN \*

Kadarisman Wisnukaton dan Sunarhadijoso Soenarjo

*Pusat Produksi Radioisotop - BATAN, Jakarta*

### INTISARI

Telah dilakukan percobaan produksi  $^{201}\text{Tl}$  melalui aktivasi proton dalam siklotron CS-30 BATAN. Preparasi sasaran  $^{203}\text{Tl}$  dilakukan dengan *electroplating* menggunakan arus rata-rata sekitar 60 mA selama 4 - 5 jam. Aktivasi dengan berkas proton berenergi 26,5 Mev menggunakan arus berkas rata-rata 30 - 34 A selama 5 - 6 jam. Pemisahan radionuklida  $^{201}\text{Pb}$  hasil aktivasi dilakukan dengan pengendapan sebagai hidroksidanya dengan menggunakan pengemban Fe(III). Pemisahan  $^{201}\text{Pb}$  dari spesi Fe(III) dan pemisahan  $^{201}\text{Tl}$  dari fraksi  $^{201}\text{Pb}$  dilakukan dengan resin penukar ion AG 1X8 (Cl), 100 - 200 mesh. Radionuklida  $^{201}\text{Tl}$  yang dihasilkan memenuhi persyaratan untuk pembuatan radiofarmaka, namun perbaikan tahapan proses radiokimia masih tetap diperlukan untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas produk.

### Preliminary Evaluation on $^{201}\text{Tl}$ Production by BATAN's CS-30 Cyclotron ABSTRACT

Experiment on  $^{201}\text{Tl}$  production by proton activation in Batan's Cs-30 Cyclotron has been carried out. The  $^{203}\text{Tl}$  target preparation was done by an electroplating process using a current of about 60 mA for 4 - 5 hours. The activation was performed by 26,5 Mev proton bombardment with a beam current of 30 - 34 A for 5 - 6 hours. The resulting  $^{201}\text{Pb}$  radionuclide was separated by a coprecipitation as its hydroxide using Fe(III) carrier. The separation of  $^{201}\text{Pb}$  from the carrier and that of  $^{201}\text{Tl}$  daughter from the  $^{201}\text{Pb}$  fraction were performed by an AG 1X8 (Cl<sup>-</sup>), 100 - 200 mesh ion exchange resin. The produced  $^{201}\text{Tl}$  met the quality needed for radiopharmaceutical preparation, however, an improvement of radiochemical process is necessary to increase the quality and quantity of the product.

### I. PENDAHULUAN

Radioisotop Talium-201 ( $^{201}\text{Tl}$ ) merupakan salah satu dari berbagai jenis radioisotop yang tidak dapat dihasilkan melalui aktivasi neutron maupun

reaksi belah bahan bakar nuklir dalam reaktor nuklir. Radioisotop ini dihasilkan melalui aktivasi menggunakan partikel bermuatan di dalam suatu mesin siklotron.

\* Disajikan dalam Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Yogyakarta, 14-16 Mei 1991.

Karakteristik nuklir, kimiawi dan biologis  $^{201}\text{Tl}$  menjadikan radioisotop tersebut sebagai radioisotop medis pilihan untuk tujuan diagnosis penyakit dan /atau kelainan jantung. Karena itu banyak dilakukan penelitian untuk pengembangan metode pembuatan dan pemisahan  $^{201}\text{Tl}$  [1-4].

Untuk dapat memenuhi kebutuhan radioisotop  $^{201}\text{Tl}$  dalam negeri, BATAN telah memiliki dan mengoperasikan sebuah mesin siklotron model CS-30 yang merupakan mesin siklotron multi partikel dengan energi tetap. Siklotron tersebut menghasilkan proton berenergi 26,5 Mev, karena itu sangat layak digunakan untuk memproduksi  $^{201}\text{Tl}$  melalui reaksi inti  $^{203}\text{Tl} (p, 3n) ^{201}\text{Pb} \rightarrow ^{201}\text{Tl}$  yang mempunyai tampang lintang reaksi maksimum pada energi proton sekitar 27 Mev [5].

Percobaan pembuatan  $^{201}\text{Tl}$  dengan siklotron Cs-30 BATAN ini telah dilakukan dan hasilnya telah pula dikirimkan ke beberapa Rumah Sakit utama di Jakarta dan Bandung [6] dalam bentuk sediaan radiofarmaka  $^{201}\text{Tl}$ -klorida. Dalam makalah ini dibahas proses produksi  $^{201}\text{Tl}$  tersebut, dan ini merupakan evaluasi tingkat awal proses produksi  $^{201}\text{Tl}$  di Pusat Produksi Radioisotop - BATAN.

Dengan evaluasi ini diharapkan dapat dilakukan usaha perbaikan lebih lanjut untuk dapat meningkatkan kemampuan produksi, baik dari segi kualitas maupun kuantitas. Hal ini dirasakan perlu mengingat kecenderungan kebutuhan radioisotop  $^{201}\text{Tl}$ , khususnya dalam bidang kedokteran nuklir di Indonesia terasa akan terus meningkat.

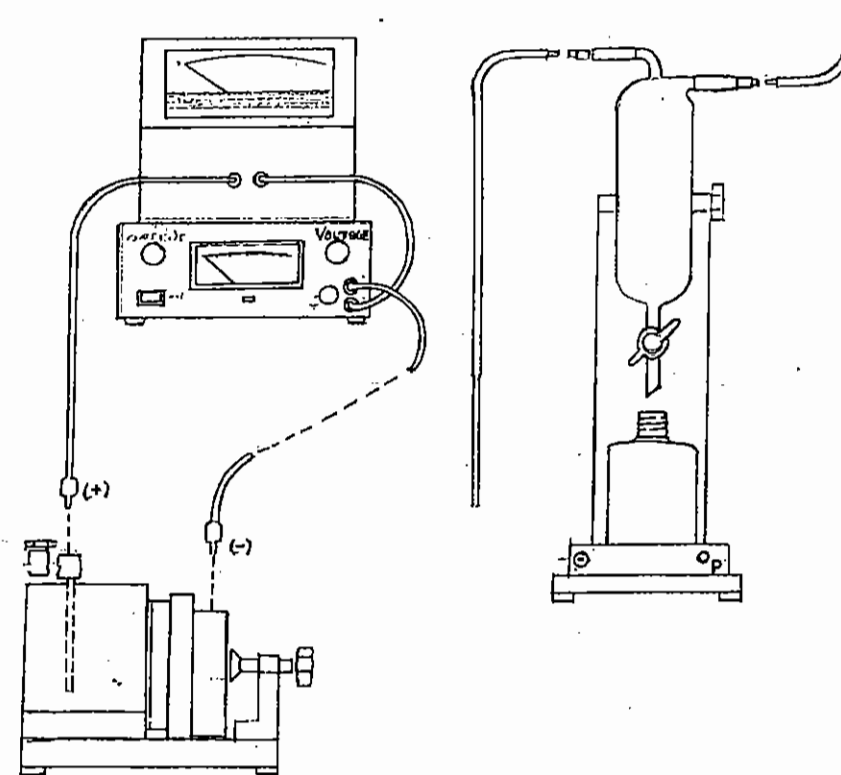
## II. TATA KERJA DAN PERCOBAAN

### 2. 1. Bahan Dan Peralatan.

Sebagai bahan sasaran dalam percobaan ini digunakan  $^{203}\text{Tl}$  dalam bentuk oksida, dengan tingkat pengkayaan di atas 95 %, yang dipasok oleh ORNL, Amerika Serikat. Bahan kimia lainnya adalah produksi Merck dengan tingkat kemurnian p. a. resin penukar ion tipe AG 1X8 ( $\text{Cl}^-$ ), 100 - 200 mesh produksi Bio Rad dipergunakan untuk proses pemisahan radiokimia secara penukaran ion. Air untuk pelarutan bahan-bahan pereaksi adalah air bebas mineral tipe I, sedangkan air untuk pelarutan produk akhir adalah air steril dari IP-HA.

Seperangkat perlengkapan elektroplating dipergunakan untuk preparasi bahan sasaran dengan menggunakan anode platina dan katode keping penyangga sasaran yang terbuat dari bahan tembaga berlapis perak. Sistem *rabbit* dan pneumatik digunakan untuk transportasi bahan sasaran sebelum dan sesudah aktivasi dari *Hot Cell* ke stasiun target dan sebaliknya. Seperangkat peralatan gelas untuk proses pemisahan radiokimia (Gb. 1) ditempatkan di dalam *Hot Cell*. Semua peralatan di atas dipasok oleh AECL sebagai bagian kontrak perjanjian Proyek BATAN - NMEL antara BATAN dengan AECL [7].

Analisis hasil produksi dilakukan sepenuhnya oleh Laboratorium Kendali Kualitas PPR. Untuk pemeriksaan radionuklida dan keradioaktifan digunakan perangkat pencacah saluran ganda ORTEC Model 918A.



Gambar 1. Perangkat proses pemisahan  $^{201}\text{Tl}$

## 2. 2. Pembuatan Larutan *Electroplating* Bahan Sasaran

Sebanyak 11,2 gram Talium oksida ( $^{203}\text{Tl}$ ) dilarutkan di dalam  $\text{H}_2\text{SO}_4$  18 N dengan bantuan pemanasan, penambahan sedikit demi sedikit  $\text{H}_2\text{O}_2$  30 % dan pengadukan magnetik. Setelah Talium oksida larut sempurna, campuran didinginkan sampai suhu kamar. Kemudian ditambahkan 50 ml air demineral sambil diaduk sampai homogen dan ditambah lagi 100 ml air demineral yang telah dijenuhkan dengan gas  $\text{SO}_2$  (buatan Matheson). Kemudian campuran dididihkan dan diuapkan sampai diperoleh larutan sekitar 125 ml. Ke dalam larutan itu berturut-turut ditambahkan 3 ml  $\text{NaOH}$  10 N, 1 ml Kresol dan 2 ml larutan pepton (250 mg/ml). Setelah diencerkan dengan air demineral sampai volumenya menjadi kira-kira 140 ml, larutan *electroplating* ini siap untuk digunakan.

## 2. 3. Preparasi Sasaran Untuk Aktivasi

Keping penyangga sasaran yang telah dibersihkan dan diketahui beratnya dipasangkan sebagai salah satu sisi samping bejana *electroplating* dan berfungsi sebagai katode (Gb. 2). *Electroplating* larutan bahan sasaran dilakukan pada kondisi ruang dengan arus rata-rata 60 mA selama 4 – 5 jam untuk mendapatkan deposit  $^{203}\text{Tl}$  pada katode sebanyak 1,6 – 2,0 gram.

## 2. 4. Aktivasi Bahan Sasaran

Sasaran yang terdeposit pada penyangga sasaran dan telah diketahui beratnya dikirim ke stasiun target dari

Hot Cell dengan sistem *rabbit* (saluran pneumatik). Iradiasi dengan berkas proton dilakukan selama waktu tertentu dan dengan menggunakan sejumlah arus berkas tertentu (lihat Tabel 1). Energi proton yang dihasilkan dengan siklotron CS-30 BATAN ini adalah 26,5 Mev [8].

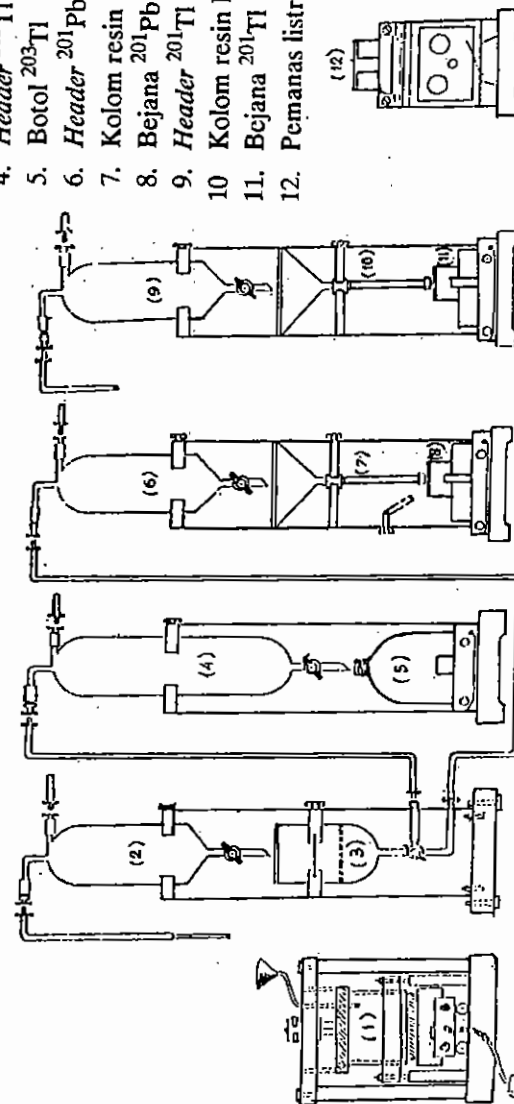
## 2. 5. Pemisahan Radioisotop $\text{Tl-201}$

Penyangga sasaran pasca-iradiasi dipasang sebagai dasar bejana pelarutan (lihat Gb. 1), dan deposit sasaran dilarutkan dengan 10 ml asam nitrat 1,6 N. Larutan kemudian dipindahkan ke dalam *header* pengendapan melalui pengisapan dalam vakum. Bejana pelarutan dicuci dengan 10 ml larutan  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  yang mengandung 5 mg  $\text{Fe}(\text{III})$  dan kemudian dengan 10 ml air. Semua pencuci dialirkan ke *header* pengendapan. Kemudian ke dalam *header* pengendapan ditambahkan 5 ml  $\text{NH}_4\text{OH}$  pekat untuk mengendapkan spesi radiotimbal dan pengemban  $\text{Fe}$ .

Selanjutnya campuran dialirkan ke penyaring dan filtratnya dipindahkan ke *header*  $^{203}\text{Tl}$  untuk selanjutnya dialirkan ke botol penampung dan disimpan sebagai fraksi  $^{203}\text{Tl}$  untuk daur ulang nantinya. Endapan yang tertahan di penyaring dilarutkan kembali dengan larutan  $\text{HCl}$  3 N untuk kemudian dialirkan ke dalam *header*  $^{201}\text{Pb}$ . Dari *header*  $^{201}\text{Pb}$ , larutan dialirkan ke dalam kolom resin penukar ion AG 1 X 8 ( $\text{Cl}^-$ ) 100 – 200 mesh (1 cm x 8 cm) yang telah dikondisikan sebelumnya dengan  $\text{HCl}$  1,2 N. Kolom resin dielusi dengan  $\text{HCl}$  1,2 N untuk me-

### Keterangan

1. Bejana Pelarutan
2. Header Pengendapan
3. Penyaring
4. Header  $^{203}\text{Tl}$
5. Botol  $^{203}\text{Tl}$
6. Header  $^{201}\text{Pb}$
7. Kolom resin
8. Bejana  $^{201}\text{Pb}$
9. Header  $^{201}\text{Tl}$
10. Kolom resin II
11. Bejana  $^{201}\text{Tl}$
12. Pemanas listrik



Gambar 2. Perangkat *electroplating* bahan sasaran  $\text{Tl-203}$

ngeluarkan spesi Fe, sedangkan spesi radiotimbal sebagian besar ( $^{201}\text{Pb}$ ) dielusi dengan larutan HCl 8 N. Eluat fraksi radiotimbal diuapkan dan dibiarkan selama satu hari dua malam untuk pertumbuhan nuklida anak ( $^{201}\text{Tl}$ ).

Pada perlakuan selanjutnya, residu yang mengandung  $^{201}\text{Tl}$  dilarutkan kembali dalam 5 ml HCl 1,2 N yang dijenuhkan dengan gas  $\text{SO}_2$  untuk mereduksi spesi  $\text{Tl(III)}$  menjadi  $\text{Tl(I)}$ . Kelebihan  $\text{SO}_2$  dihilangkan dengan pendidihan, dan larutan dilewatkan ke dalam header  $^{201}\text{Tl}$  dan dialirkan ke kolom resin kedua yang telah dikondisikan sebelumnya dengan HCl 1,2 N yang dijenuhkan dengan gas  $\text{SO}_2$ . Selanjutnya kolom resin dielusi dengan HCl 1,2 N (dijenuhkan dengan  $\text{SO}_2$ ) untuk mengeluarkan spesi  $^{201}\text{Tl}$ . Fraksi  $^{201}\text{Tl}$  yang dihasilkan dikisat dan kemudian dilarutkan kembali dalam air steril. Larutan diatur pH-nya antara 4,5 - 6,5 dan disaring menggunakan filter milipore ke dalam vial baru yang bersih.

### III. HASIL PERCOBAAN DAN PEMBAHASAN

Percobaan iradiasi  $^{203}\text{Tl}$  dan proses pemisahan  $^{201}\text{Tl}$  dilakukan 3 kali seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Ketiga percobaan tersebut tidak merupakan pengulangan satu sama lain, melainkan senantiasa ada perbaikan tahapan yang dipandang perlu dari percobaan yang lebih awal untuk menyempurnakan tahapan pada percobaan berikutnya. Walaupun pokok-pokok perlakuan dalam ketiga percobaan tersebut adalah sama, namun masing-masing diperlukan secara

terpisah untuk mengidentifikasi adanya hal-hal yang perlu disempurnakan pada proses percobaan yang berikutnya. Hal ini dipandang perlu mengingat percobaan yang dilakukan menyangkut proses aktivasi dengan siklotron dan proses pemisahan radioisotop hasil aktivasi dalam siklotron baru untuk pertama kalinya dilakukan di Indonesia.

Iradiasi sasaran  $^{203}\text{Tl}$  dengan berkas proton berenergi 26,5 Mev menghasilkan reaksi inti utama ( $p, 3n$ ) yang menghasilkan radionuklida  $^{201}\text{Pb}$ . Peluruhan radioisotop  $^{201}\text{Pb}$  (waktu paruh 9,4 jam) menghasilkan radionuklida  $^{201}\text{Tl}$  (waktu paruh 73 jam). Hubungan keradioaktifan  $^{201}\text{Tl}$  dan  $^{201}\text{Pb}$  sebelum kedua radionuklida tersebut saling dipisahkan memenuhi persamaan berikut ini ( $\lambda = 0,693 / \text{waktu paruh}$ ):

$$[A_{\text{Tl}}]_t = \left[ \frac{\lambda_{\text{Tl}}}{\lambda_{\text{Tl}} - \lambda_{\text{Pb}}} \right] (A_{\text{Pb}})_{\text{EOB}} \times (e^{-\lambda_{\text{Pb}}t} - e^{-\lambda_{\text{Tl}}t}) \quad (1)$$

Pada Tabel 1, nilai  $t$  ditunjukkan dengan  $t_2$  terhitung sejak EOB, dan merupakan waktu di mana  $^{201}\text{Tl}$  tepat dipisahkan dari  $^{201}\text{Pb}$ , sehingga tidak dipengaruhi lagi oleh pertumbuhan akibat peluruhan  $^{201}\text{Pb}$ . Terlihat adanya lonjakan keradioaktifan  $^{201}\text{Tl}$  yang dihasilkan pada proses yang ketiga sebagai dampak positif penyempurnaan tahapan proses yang dilakukan. Perbaikan tahapan proses ini antara lain menyangkut kesempurnaan pelarutan sasaran pasca iradiasi dan penambahan volume fase gerak yang digunakan untuk elusi kolom resin penukar ion.

Tabel 1 : Iradiasi  $^{203}\text{Tl}$  dan Proses Pemisahan  $^{201}\text{Tl}$

Nomor proses	Berat sasaran (gram)	Waktu iradiasi (jam)	Arus berkas (A)	Ak.Pb pd EOB (mCi)	Ak.Tl pd $t_2$ (mCi)
PR-001	1,96	5	30,00	*	41,61
PR-002	2,02	6	33,80	3095	55,56
PR-003	1,86	6	33,76	3032	153,17

Catatan :

$t_2$  adalah selang waktu antara EOB sampai dengan elusi/pemisahan  $^{201}\text{Pb}$  dengan  $^{201}\text{Tl}$ .

\* Aktivitas  $^{201}\text{Pb}$  pada EOB tidak ditetapkan.

Berdasarkan hasil pengukuran keradioaktifan  $^{201}\text{Pb}$  pada saat EOB, melalui pers. (1) dapat diestimasi keradioaktifan  $^{201}\text{Tl}$  yang seharusnya diperoleh. Pada Tabel 2 ditunjukkan perbandingan keradioaktifan  $^{201}\text{Tl}$  hasil percobaan dan hasil perhitungan teoretis, diperhitungkan pada  $t_2$ .

Tabel 2 : Rendemen proses pemisahan  $^{201}\text{Tl}$  yang dihitung pada saat  $^{201}\text{Tl}$  tepat dipisahkan dengan  $^{201}\text{Pb}$  ( $t_2$ )

Nomor proses	$t_2$ (jam)	Aktivitas $^{201}\text{Tl}$ (mCi)		Rendemen proses (%)
		Hasil proses	Teoritis*	
PR-001	39,67	41,61	-	-
PR-002	37,62	55,56	290,68	19,11
PR-003	39,50	153,17	282,68	54,19

Catatan :

\* Berdasarkan hasil penentuan  $^{201}\text{Pb}$  pada EOB.

Dari Tabel 2 ini dapat dilihat adanya kenaikan rendemen proses yang cukup besar dari proses kedua ke proses ketiga. Namun kenaikan rendemen proses tersebut belum berarti bahwa pada proses ketiga telah dapat dihasilkan  $^{201}\text{Tl}$  yang optimum. Rendemen proses sebesar 54,19 % masih belum memuaskan, dan karenanya dicoba untuk menelusuri lebih lanjut tahapan kritis proses dengan keradioaktifan  $^{201}\text{Tl}$  diperkirakan terlepas dan tidak diperoleh kembali sebagai produk.

Penelusuran keradioaktifan tersebut dilakukan dengan mengukur keradioaktifan beberapa komponen peralatan gelas yang diduga masih menahan spesi  $^{201}\text{Tl}$  yang tidak dapat diperoleh sebagai produk. Walaupun hasil pengukuran tidak akurat, terutama oleh faktor geometri yang sangat berbeda, namun dapat diperoleh gambaran bahwa memang ada spesi  $^{201}\text{Tl}$  yang seyogyanya masih dapat diperoleh kembali sebagai produk. Hasil pengukuran masing-masing komponen peralatan gelas yang dimaksudkan ditunjukkan pada Tabel 3.

Hasil pemeriksaan kualitas sediaan radioisotop primer  $^{201}\text{Tl}$  yang dihasilkan secara umum memenuhi persyaratan untuk diproses lebih lanjut menjadi preparat radiofarmaka. Pemeriksaan kualitas meliputi pemeriksaan konsentrasi keradioaktifan, pH, kemurnian radionuklida (kontaminasi  $^{200}\text{Tl}$  dan  $^{202}\text{Tl}$ ), kemurnian radiokimia (kontaminasi  $^{201}\text{Tl}$  tingkat oksidasi + 3), kandungan kimiawi (kandungan Fe, Ag dan Tl).

Tabel 3 : Penelusuran keradioaktifan  $^{201}\text{Tl}$  yang terpisah dari produk dalam proses nomor PR-003

Komponen peralatan	Aktivitas $^{201}\text{Tl}$ terukur * (mCi)	Tahapan proses yang harus diperbaiki #
Penyaring kaca masir	26,00	Pelarutan $^{201}\text{Pb}(\text{OH})_2$
Kolom resin 1	7,50	Pemurnian spesi $^{201}\text{Pb}$
Kolom resin 2	9,59	Pemisahan dan pemurnian $^{201}\text{Tl}$
Bejana produk dan syringe	6,54	pelarutan dan penyaringan $^{201}\text{Tl}$

Keterangan : \* Aktivitas  $^{201}\text{Tl}$  terukur pada  $t_2 = 42,33$  jam sesudah EOB.

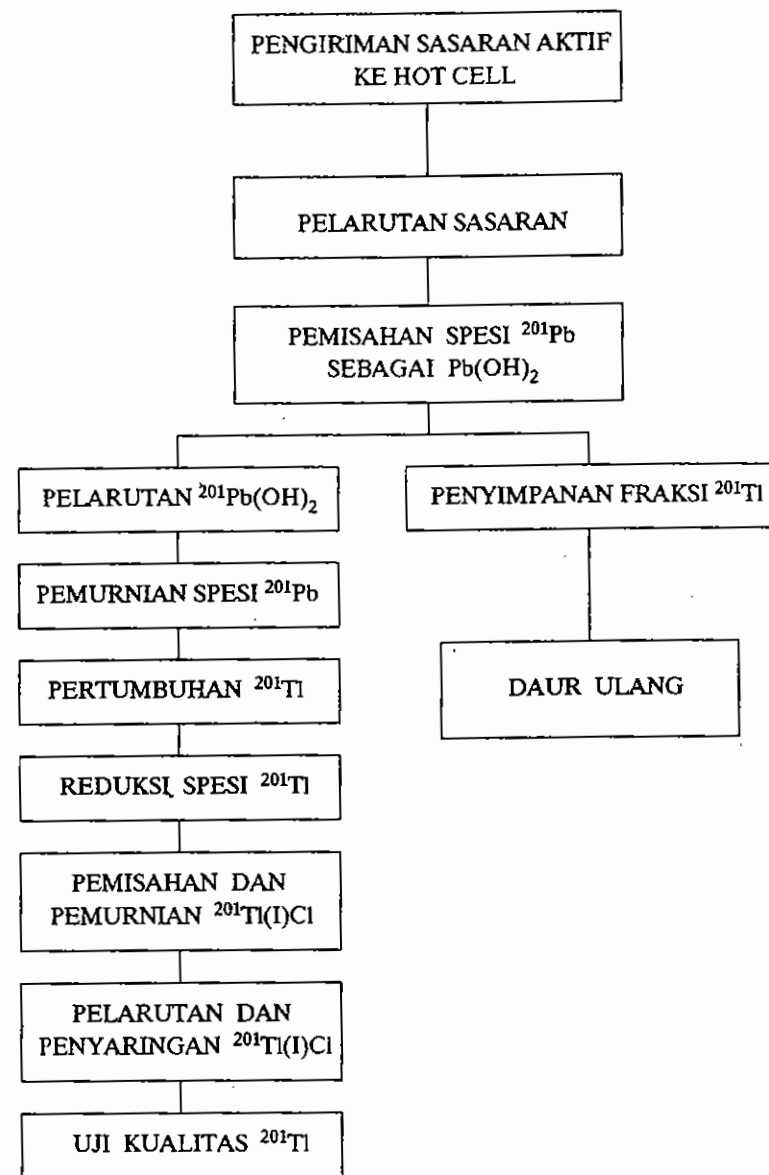
# Tahapan proses sesuai dengan Gambar 3.

Evaluasi terhadap hasil pemeriksaan kualitas menunjukkan bahwa kandungan kimiawi Tl merupakan hal kritis yang perlu perhatian lebih lanjut pada proses produksi berikutnya. Di antara tahapan proses pemisahan  $^{201}\text{Tl}$  yang ditunjukkan pada Gb. 3, maka tahapan kritis yang menyangkut kandungan spesi kimia Tl pada hasil akhir adalah tahapan pemisahan spesi  $^{201}\text{Pb}$  sebagai  $\text{Pb}(\text{OH})_2$  dengan  $^{201}\text{Pb}$  didapatkan sebagai hidroksidanya dengan pengemban  $\text{Fe}(\text{III})$ . Pemisahan endapan dari filtratnya dan kemudian pencucian endapan memberikan kemungkinan masih tertinggalnya spesi Tl sebagai  $^{203}\text{Tl}$  di dalam fraksi endapan. Karena itu terhadap fraksi filtrat pada pencucian terakhir perlu dilakukan uji tetes untuk pemeriksaan Tl dengan menggunakan standar larutan Tl dengan kandungan Tl sebesar batas ambang yang diizinkan.

Uji tetes yang paling sederhana dan cepat untuk pemeriksaan Tl adalah uji tetes menggunakan pereaksi larutan KI diikuti dengan penambahan larutan natrium tiosulfat 2 % [9]. Namun hal ini sulit dilakukan di dalam *Hot Cell* karena warna uji positif adalah mirip dengan warna kaca timbal pada dinding *Hot Cell*, sehingga uji tetes harus dilakukan di luar *Hot Cell*, dan ini berarti memerlukan waktu yang lebih lama. Hal ini akan mengakibatkan semakin besarnya keradioaktifan  $^{201}\text{Tl}$  yang akan terlepas dari kolom resin pada tahapan pemurnian spesi  $^{201}\text{Pb}$ , karena spesi  $^{201}\text{Tl}$  akan terelusi bersama-sama dengan spesi  $\text{Fe}(\text{III})$ .

#### IV. KESIMPULAN

Teknologi proses produksi  $^{201}\text{Tl}$  melalui reaksi aktivasi dalam siklotron CS-30 BATAN telah dimiliki. Proses

Gambar 3. Tahapan proses pemisahan  $^{201}\text{Tl}$

perdana yang telah dilakukan memberikan hasil yang memenuhi persyaratan untuk pembuatan preparat radiofarmaka  $^{201}\text{Tl(I)}$  klorida. Bahkan preparat radiofarmaka yang dihasilkan juga telah dikirimkan dan digunakan beberapa Rumah Sakit utama di Jakarta dan Bandung. Namun evaluasi dan perbaikan tahapan perlakuan proses masih tetap terus diperlukan untuk peningkatan kualitas dan kuantitas hasil.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lagunas-Solar *et al.*, 1978 : *Thallium-201 Yield and Excitation Function for the Lead Radioactivities Produced by Irradiation of Natural Thallium with 15 – 60 Mev Proton*, *International Journal of Applied Radiation and Isotopes (IJARI)*, vol. 29, hal. 159 – 165.
- [2] Lagunas-Solar *et al.*, 1981 : *Proton Induced Reactions on Natural Pb Target. A Potential New Cyclotron Method for Tl-201 Production*, *IJARI*, vol. 32, hal. 817 – 822.
- [3] Malini, A. B. *et al.*, 1984 : *Production of No-Carrier-Added Tl-201*, *IJARI*, vol. 35, hal. 685 – 687.
- [4] Stephen, D. T. *et al.*, 1985 : *The Cyclotron Radionuclide Program at King Faisal Specialist Hospital and Research Centre, Instrument and Methods in Physics Research B* 10 / 11, hal. 967 – 968.
- [5] Cruz, D. Gandarias dan K. Okamoto, 1988 : *Nuclear Data For Medical Radioisotopes Produced By Accelerators – Status And Compilations*, INDC (NDS) 195 / GZ, IAEA, Vienna.
- [6] Soenarjo, S., 1990 : *Siklotron CS-30: Era Baru Produksi Radioisotop Di Indonesia*, *Harian Kompas*, 25 Oktober.
- [7] Dokumen Kontrak "Batan - Nuclear Mechano-Electronic Laboratory Agreement Between Batan and AECL", 1984.
- [8] Soenarjo, S., Suryanto dan Silakhuddin, 1990 : *Beberapa Masalah Dalam Uji Coba Siklotron CS-30 Batan*, *Seminar Pendayagunaan Reaktor Nuklir Untuk Kesejahteraan Masyarakat*, PPTN – Batan, Bandung.
- [9] Feigel F. *et al.*, 1972 : *Spot Test in Inorganic Analysis*, hal. 474 – 475, Elsevier Publishing Company, Amsterdam.